



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 42 700 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 S 13/42**  
G 01 S 7/35

②1 Aktenzeichen: P 42 42 700.2  
②2 Anmeldetag: 17. 12. 92  
④3 Offenlegungstag: 23. 6. 94

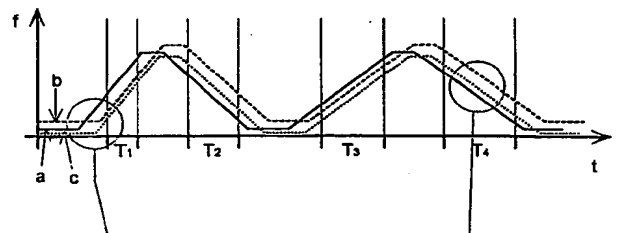
DE 42 42 700 A 1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Winner, Hermann, Dipl.-Phys. Dr., 7500 Karlsruhe,  
DE; Grein, Nicolas, Dipl.-Ing., 6744 Kandel, DE

⑤4 Verfahren zur Messung des Abstands und der Geschwindigkeit von Objekten

⑤7 Bei einem Verfahren zur Messung des Abstandes und der Geschwindigkeit von Objekten mit Hilfe elektromagnetischer Wellen wird die Frequenz eines ausgesendeten Signals moduliert. Die während eines Anstiegs und eines Abfalls der Frequenz des ausgesendeten Signals empfangenen Signale werden mit dem ausgesendeten Signal gemischt. Die durch die Mischung entstandenen Zwischenfrequenzsignale werden spektral analysiert. Aus der Frequenz von Spektrallinien der Zwischenfrequenzsignale während mindestens eines Anstiegs und mindestens eines Abfalls der Frequenz des ausgesendeten Signals werden der Abstand und die Geschwindigkeit mindestens eines Objekts berechnet.



DE 42 42 700 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 025/170

7/35

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Zur Abstandsmessung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen (Radar) sind verschiedene Verfahren bekanntgeworden. Bei dem sogenannten FMCW-Radar werden kontinuierlich elektromagnetische Wellen ausgesendet, deren Frequenz zwischen zwei Werten im wesentlichen rampenförmig moduliert wird. Bei den bekannten Verfahren dieser Art werden die empfangenen reflektierten Wellen mit den gleichzeitig ausgesendeten Wellen gemischt. Während der Frequenzänderung, also während der Rampe des Modulationssignals, kann aus der durch die Mischung gewonnenen Zwischenfrequenz in einfacher Weise auf die Laufzeit und damit auf den Abstand des Objekts geschlossen werden.

Bewegt sich das reflektierende Objekt relativ zum Ort der Messung, erfährt das reflektierte Signal eine Dopplerverschiebung. Dies wird bei einem durch WO92/11548 bekannten Verfahren zur Messung des Abstandes und der Geschwindigkeit dadurch ausgenutzt, daß der Frequenzunterschied während eines Anstiegs und während eines Abfalls der Frequenz der ausgesendeten Wellen gemessen und daß die Geschwindigkeit aus der Differenz der Frequenzunterschiede und der Abstand aus dem Mittelwert der Frequenzunterschiede berechnet werden.

Bei einem Ausführungsbeispiel dieses bekannten Verfahrens wird die von einem Objekt reflektierte Welle bzw. das daraus abgeleitete Zwischenfrequenzsignal ausgewertet.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, bei welchem die Abstände und die Geschwindigkeiten mehrerer Objekte gemessen werden können, die sich gleichzeitig im Erfassungsbereich einer Meßeinrichtung befinden.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs weist außer der Möglichkeit, die Abstände und Geschwindigkeiten mehrerer Objekte zu messen, die Vorteile einer recht genauen Messung auf, insbesondere für die im Straßenverkehr vorkommenden relativ geringen Abstände und Geschwindigkeiten. Außer einer genauen Messung der Geschwindigkeit erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren auch eine genaue Messung des Abstandes, da für die Zwecke der Abstandsmessung eine Kompensation des Dopplereffektes erfolgt, der bei anderen bekannten Verfahren zur Abstandsmessung störend in Erscheinung tritt.

Durch die genannten Vorteile ist das erfindungsgemäße Verfahren besonders gut für Abstandswarneinrichtungen an Kraftfahrzeugen geeignet. Dabei kann unter Zuhilfenahme der eigenen Fahrzeuggeschwindigkeit in einfacher Weise zwischen entgegenkommenden, stehenden und vorausfahrenden Objekten unterschieden werden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Hauptanspruch angegebenen Erfindung möglich.

Einige dieser Weiterbildungen befassen sich mit der Vermeidung von Mehrdeutigkeiten, die bei einem Verfahren nach dem Hauptanspruch auftreten können. Hierzu werden insbesondere die Ergebnisse mehrerer aufeinanderfolgender Messungen ausgewertet.

Zur Begrenzung der Rechenzeit bei der Spektralanalyse ist es vorteilhaft, wenn die Zwischenfrequenzsigna-

le in einem vorgegebenen Frequenzbereich von beispielsweise von 0 bis 300 kHz spektral analysiert werden. Dieser Bereich ist abhängig von dem zu erfassenden Abstands- und Geschwindigkeitsbereich und von der Wahl der Steigung der Rampen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung anhand mehrerer Figuren dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 den zeitlichen Verlauf der Frequenz eines ausgesendeten Signals und zweier empfangener Signale,

Fig. 2 Leistungsspektren der zu verschiedenen Zeitpunkten empfangenen Signale,

Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 4 ein Ablaufdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Frequenz des ausgesendeten Signals als durchgezogene Linie a. Zwischen mehreren Phasen konstanter Frequenz wird die Frequenz rampenförmig verändert. In einem bei diesem Ausführungsbeispiel vier Rampen umfassenden Meßzyklus steigt während einer ersten Meßzeit  $T_1$  an und fällt während einer zweiten Meßzeit  $T_2$  wieder ab. In den Meßzeiten  $T_3$  und  $T_4$  steigt die Frequenz an bzw. fällt die Frequenz ab, jedoch mit einer Änderungsgeschwindigkeit, die kleiner als in den Meßzeiten  $T_1$  und  $T_2$  ist.

Trifft dieses somit frequenzmodulierte Radarsignal auf ein oder mehrere reflektierende Objekte, so wird ein Teil des Reflektionssignals von der Antenne wieder empfangen. Die Kurven b und c zeigen den Frequenzverlauf zweier solcher Empfangssignale. Charakteristisch für die empfangenen Signale sind eine durch die zurückgelegte Wegstrecke bedingte zeitliche Verzögerung und eine Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt, falls sich der Abstand zwischen der Sende- und Empfangseinrichtung (Radar) und dem Objekt mit der Zeit ändert.

Zur genaueren Erläuterung dieses Zusammenhangs sind Teile der Fig. 1 in den Fig. 1a und 1b vergrößert dargestellt. Ein Echo von einem ersten Objekt (gestrichelte Kurve b) ist um die Laufzeit  $dt_1$  verzögert und um die Frequenz  $f_{D,1}$  verschoben. Bei diesem ersten Objekt führt der Dopplereffekt zu einer Frequenzerhöhung, da es sich auf das Radar zu bewegt. Das Echo von einem zweiten Objekt (punktierte Kurve c) ist um die Laufzeit  $dt_2$  verzögert und um die Frequenz  $f_{D,2}$  verschoben. Zur Veranschaulichung sind die Frequenz- und Zeitverschiebungen stark übertrieben dargestellt.

Fig. 1b zeigt die Differenzfrequenzen zwischen dem ausgesendeten Signal (Kurve a) und den Frequenzen der empfangenen Signale (Kurven b, c) während der Meßzeit  $T_4$ . Die Frequenzunterschiede sind jeweils nach der Meßzeit und dem reflektierenden Objekt indiziert. So bedeutet beispielsweise  $f_{4,1}$  den Frequenzunterschied zwischen dem empfangenen vom ersten Objekt reflektierten Signal und dem ausgesendeten Signal während der Meßzeit  $T_4$ .

Die empfangenen Signale werden mit den gleichzeitig ausgesendeten gemischt, so daß die Frequenzunterschiede als Frequenzen in einem Zwischenfrequenzband auftreten und weiterverarbeitet, insbesondere spektral analysiert werden können. Dies kann beispielsweise durch Abtastung, Digitalisierung und anschließende diskrete Fourier-Transformation geschehen.

Das Ergebnis einer solchen Analyse ist für die Meß-

zeiten  $T_1$  bis  $T_4$  und die in Fig. 1 angenommenen empfangenen Signale dargestellt. Jedes reflektierende Objekt spiegelt sich hier in je einem lokalen Maximum wieder, dessen Frequenzlage von dessen Abstand und Relativgeschwindigkeit abhängt.

Die Laufzeit zwischen dem Aussenden und dem Empfangen eines Signals beträgt  $dt = 2s/c$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Zum Empfangszeitpunkt ist die Frequenz des ausgesendeten Signals auf einen höheren Wert um  $df = (f_H/T) \cdot dt = 2s f_H/(T \cdot c)$  gestiegen. Dabei ist  $f_H$  der Frequenzhub und  $T$  die Dauer der Rampe.  $f_H/T$  ist also die Anstiegsgeschwindigkeit der Frequenz. Durch Mischung des ausgesendeten und des empfangenen Signals ergibt sich eine Zwischenfrequenz von  $f_0 = df = 2s \cdot f_H/(T \cdot c)$ .

Bewegt sich das reflektierende Objekt relativ zum Radar mit der Geschwindigkeit  $v_r$ , so ergibt sich im empfangenen Signal eine Dopplerverschiebung von  $f_B = -2v_r \cdot f_T/c$ , wobei  $f_T$  die Grundfrequenz der ausgesendeten Signale ist. Für  $n$  erfaßte Objekte und zwei Messungen bzw. Rampen ergeben sich zwei Sätze von Zwischenfrequenzen  $f_{1,i}$  und  $f_{2,i}$  nach folgenden Gleichungen:

$$f_{1,i} = |a_1 \cdot s_i + b \cdot v_{r,i}|$$

$$f_{2,i} = |a_2 \cdot s_i + b \cdot v_{r,i}|$$

mit  $a_1 = 2f_{H,1}/(T \cdot c)$ ,  $a_2 = 2f_{H,2}/(T \cdot c)$ ,  $b = 2f_T/c$ .

Dabei ist  $i$  eine Ordnungsnummer des jeweiligen Objekts, die Werte von 1 bis  $n$  annehmen kann.

Je Objekt stehen somit zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten zur Verfügung, aus denen der Abstand  $s$  und die Geschwindigkeit  $v_r$  berechnet werden können. Voraussetzung dazu ist allerdings, daß die Auswertung der Zwischenfrequenzen während einer steigenden und einer darauf abfallenden Flanke auf der gleichen Zuordnung zwischen den Zwischenfrequenzen und dem jeweiligen Objekt beruht. Um dieses sicherzustellen, können zunächst alle Zuordnungen als möglich angenommen werden — im Falle der Fig. 2a und 2b ist dann das Gleichungssystem mit der in der Figur angegebenen Indizierung und zusätzlich mit einer Vertauschung von beispielsweise  $f_{2,2}$  und  $f_{2,1}$  zu berechnen — und das Ergebnis auf Plausibilität zu überprüfen. Stellt sich beispielsweise bei einer der angenommenen Zuordnungen heraus, daß ein Objekt sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, die im Straßenverkehr nicht möglich ist, so ist die andere Zuordnung richtig. Außerdem kann in einer nachfolgenden Berechnung durch die damit gewonnenen neuen Abstandsangaben und den Zeitunterschied die Geschwindigkeit berechnet und mit den mit Hilfe des Dopplereffektes gewonnenen Geschwindigkeiten verglichen werden.

Bei der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsform gehören vier Rampen zu einem Meßzyklus, wobei die dritte und vierte Rampe eine andere Steigung als die erste und die zweite aufweisen. Die Steigung der Rampen kann beispielsweise folgende Werte annehmen:  $+300 \text{ MHz/1 ms}$ ,  $-300 \text{ MHz/1 ms}$ ,  $+300 \text{ MHz/3 ms}$  und  $-300 \text{ MHz/3 ms}$ . Dadurch kann die Zuordnung der gemessenen Frequenzen zu den Objekten verbessert werden.

Für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorteilhaft, die Rampensteigung derart zu wählen, daß der Einfluß des Dopplereffekts kleiner als der Einfluß der Laufzeit ist. Dadurch überwiegt in den obengenannten Gleichungen der erste Summand, was wiederum zur Folge hat, daß das Vorzeichen der Sum-

me lediglich davon abhängt, ob es sich um eine steigende oder fallende Rampe handelt, was wiederum bekannt ist. Eine Vorzeichenabhängigkeit von zu ermittelnden Größen besteht nicht.

Darüber hinaus beeinflußt die Steigung der Rampen die Auflösung derart, daß bei einer relativ geringen Rampensteigung durch den größeren Einfluß des Dopplereffekts eine größere Auflösung der Geschwindigkeit gegeben ist, während bei steileren Rampen der Dopplereffekt einen geringen Einfluß hat und dadurch eine leichtere Identifizierung eines Objekts durch seinen Abstand möglich ist. Durch den im dargestellten Ausführungsbeispiel vorgenommenen Wechsel der Rampensteigung können sowohl die Geschwindigkeit als auch der Abstand mit guter Auflösung ermittelt werden.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild einer Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein an sich bekanntes FMCW-Radar-Frontend enthält im wesentlichen einen steuerbaren Oszillator (VCO) 2, einen Zirkulator 3, eine Antenne 4 und einen Mischer 5. Das Ausgangssignal des steuerbaren Oszillators wird über den Zirkulator der Antenne zugeführt und von dieser abgestrahlt. Die nach der Reflektion zurückkehrende Welle wird als entsprechendes Signal über den Zirkulator dem Mischer 5 zugeleitet und dort mit dem Ausgangssignal des Oszillators 2 gemischt. Die entstandene Zwischenfrequenz entspricht der Differenz der Frequenzen des ausgesendeten Signals und des empfangenen Signals und steht am Ausgang 6 des Mixers 5 zur Verfügung.

Einem Steuereingang 7 des steuerbaren Oszillators 2 wird ein Signal zur Frequenzmodulation des ausgesendeten Signals zugeführt. Dieses Signal weist die in Fig. 3 schematisch dargestellte Rampenform auf und wird von einem Rampengenerator 8 erzeugt, der in an sich bekannter Weise im wesentlichen aus einem Integrator besteht, dem während der Rampen Spannungen mit entgegengesetztem Vorzeichen zugeführt werden. Zur Steuerung dieser Auf- und Abintegration werden dem Eingang 9 des Rampengenerators 8 Steuersignale von einer Kontroll- und Recheneinheit 11 zugeführt.

Die Kontroll- und Recheneinheit 11 enthält außer einem Rechenwerk, einem Steuerwerk und üblichen Speichern (insgesamt in Fig. 3 mit 13 bezeichnet) digitale Eingabe/Ausgabe-Ports 14 zur Verbindung mit dem Rampengenerator 8 und dem Analog/Digital-Wandler 12 sowie eine Schnittstelle 15 zu einem übergeordneten System, das beispielsweise die gemessenen Werte zur Anzeige bringt, registriert oder anderweitig auswertet. Da die Kontroll- und Recheneinheit grundsätzlich solchen entspricht, die bei den bekannten FMCW-Radar-Geräten verwendet werden, erübrigt sich eine Erläuterung im einzelnen. Gegenüber diesen bekannten Kontroll- und Recheneinheiten ist zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im wesentlichen das Rechenwerk zur Vornahme einer schnellen Fourier-Transformation und der im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 erläuterten Rechenoperationen ausgelegt.

Das als Ablaufdiagramm in Fig. 4 dargestellte Programm wird bei 21 gestartet. Bei 22 wird während des Sendens eines modulierten Signals, also einer Sequenz von  $m$  Rampen, das Ausgangssignal des Mixers 5 (Fig. 3) im Analog/Digital-Wandler 12 abgetastet. Nachdem Ende der Sequenz stehen dann in einem Speicher der Kontroll- und Recheneinheit 11 Abtastwerte von  $m$  Messungen zur Verfügung.

Im Programmteil 23 erfolgt dann die Spektralanalyse der  $m$  Messungen, worauf bei 24 in den Spektren nach

lokalen Maxima gesucht und deren Frequenz berechnet wird. Aus den Frequenzen werden dann bei 25 für alle Objekte der Abstand  $s$  und die Relativgeschwindigkeit  $v_r$  berechnet.

In dem folgenden Programmteil 26 erfolgt die Ausgabe der berechneten Werte, beispielsweise an einer Anzeigevorrichtung oder an einem übergeordneten Rechner zur weiteren Verarbeitung.

durch die Reflektion am  $i$ -ten Objekt,  
 $f_{H,k}$  der Frequenzhub bei der  $k$ -ten Rampe,  
 $T$ : die Dauer einer Rampe,  
 $f_T$  die Grundfrequenz des ausgesendeten Signals  
 und  $c$ : die Lichtgeschwindigkeit.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

# Patentansprüche

10

1. Verfahren zur Messung des Abstandes und der Geschwindigkeit von Objekten mit Hilfe elektromagnetischer Wellen, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz eines ausgesendeten Signals moduliert wird, daß die während eines Anstiegs und eines Abfalls der Frequenz des ausgesendeten Signals empfangenen Signale mit dem ausgesendeten Signal gemischt werden, daß die durch die Mischung entstandenen Zwischenfrequenzsignale spektral analysiert werden und daß aus der Frequenz von Spektrallinien der Zwischenfrequenzsignale während mindestens eines Anstiegs und mindestens eines Abfalls der Frequenz des ausgesendeten Signals der Abstand und die Geschwindigkeit mindestens eines Objekts berechnet werden.

15

20

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektralanalyse mit Hilfe einer schnellen Fourier-Transformation erfolgt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenfrequenzsignale in einem vorgegebenen Frequenzbereich von beispielsweise von 0 bis 300 kHz spektral analysiert werden.

30

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach einem Anstieg und einem Abfall der Frequenz des ausgesendeten Signals zur Berechnung des Abstandes  $s_i$  und der Geschwindigkeit  $v_{r,i}$  von  $n$  Objekten ( $i = 1 \dots n$ ) folgendes Gleichungssystem gelöst wird:

40

$$f_{1,i} = |a_1 \cdot s_i + b \cdot v_{r,i}|$$

$$f_{2,i} = |a_2 \cdot s_i + b \cdot v_{r,i}|$$

$$\text{mit } a_1 = 2f_{H,1}/(T \cdot c), a_2 = 2f_{H,2}/(T \cdot c), b = 2f_T/c,$$

dabei bedeuten

$f_{1,i}$ : die Zwischenfrequenzen beim Frequenzanstieg,

45

$f_{2,i}$ : die Zwischenfrequenzen beim Frequenzabfall,

$f_{H,1}$ : der Frequenzhub beim Frequenzanstieg,

$f_{H,2}$  der Frequenzhub beim Frequenzabfall,

$T$ : die Dauer des Anstiegs bzw. des Abfalls,

$f_T$ : die Grundfrequenz des ausgesendeten Signals

50

und  $c$ : die Lichtgeschwindigkeit.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Lösung des Gleichungssystems mehrere mögliche Zuordnungen zwischen verschiedenen Objekten und verschiedenen Zwischenfrequenzen berücksichtigt werden und daß eine Auswahl der richtigen Zuordnung durch Vergleich mehrerer aufeinanderfolgender Messungen durchgeführt wird.

55

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach  $m$  Änderungen der Frequenz (Rampen) des ausgesendeten Signals zur Berechnung des Abstandes  $s_i$  und der Geschwindigkeit  $v_{r,i}$  von  $n$  Objekten ( $i = 1 \dots n$ ) folgendes Gleichungssystem gelöst wird:

60

$$f_{k,i} = |a_k \cdot s_i + b \cdot v_{r,i}|$$

$$\text{mit } a_k = 2f_{H,k}/(T \cdot c), b = 2f_T/c, \text{ dabei bedeuten}$$

$f_{k,i}$ : die Zwischenfrequenz bei der  $k$ -ten Rampe

- Leerseite -

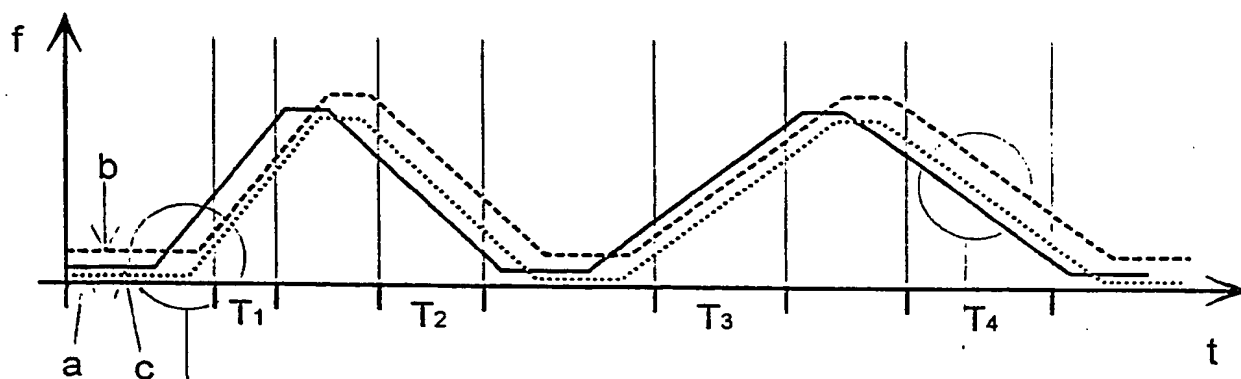


FIG 1

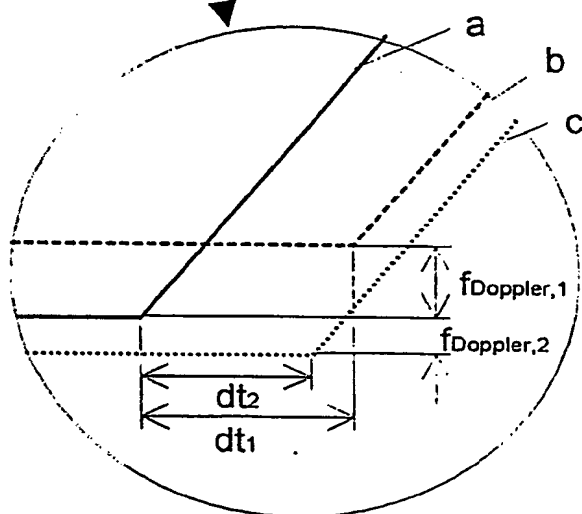


FIG 1a

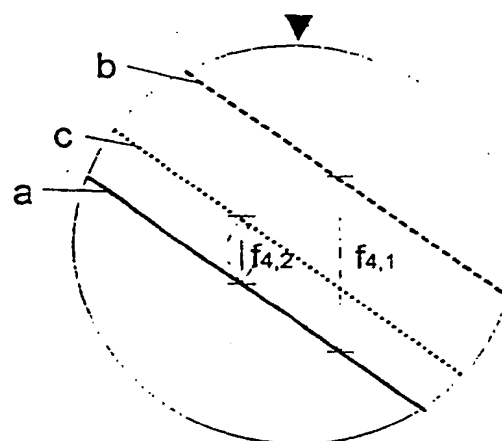


FIG 1b

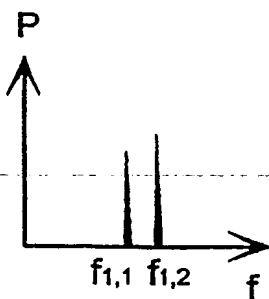


FIG 2a

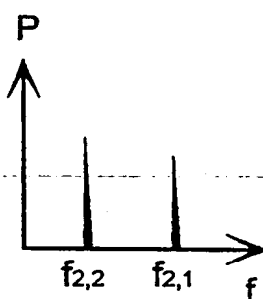


FIG 2b

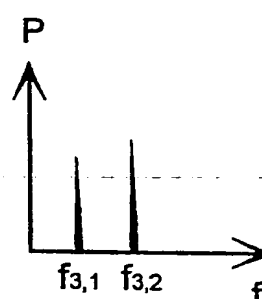


FIG 2c

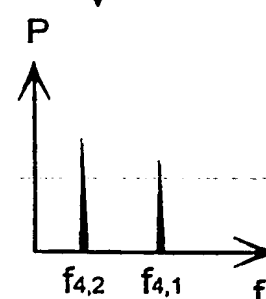
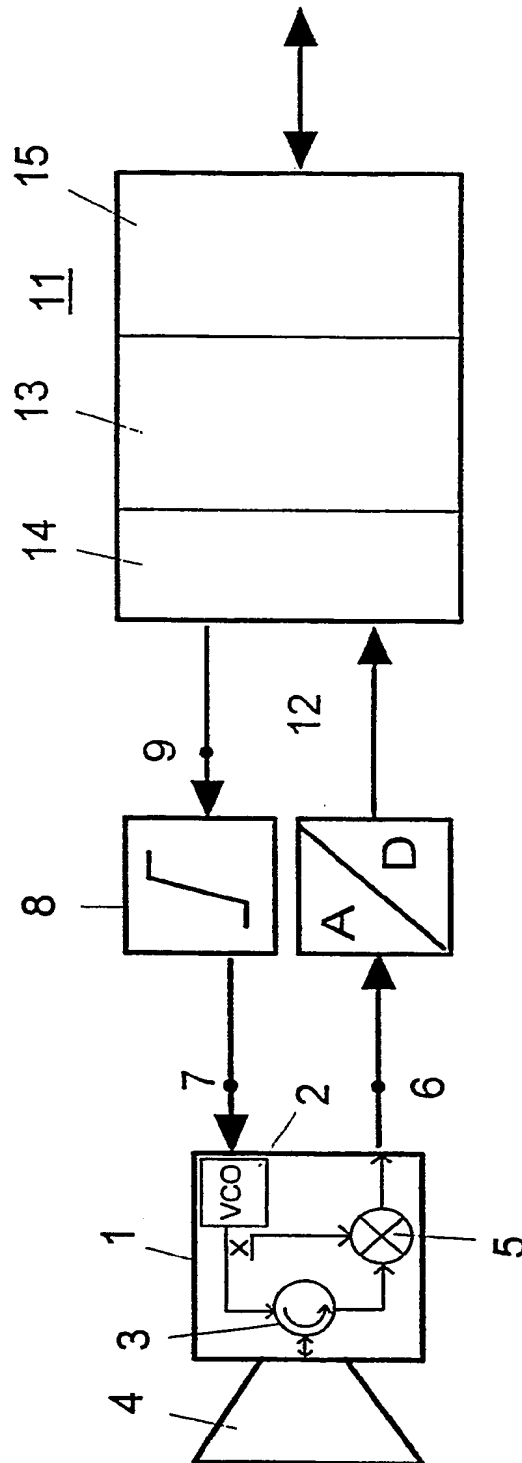


FIG 2d

FIG 3



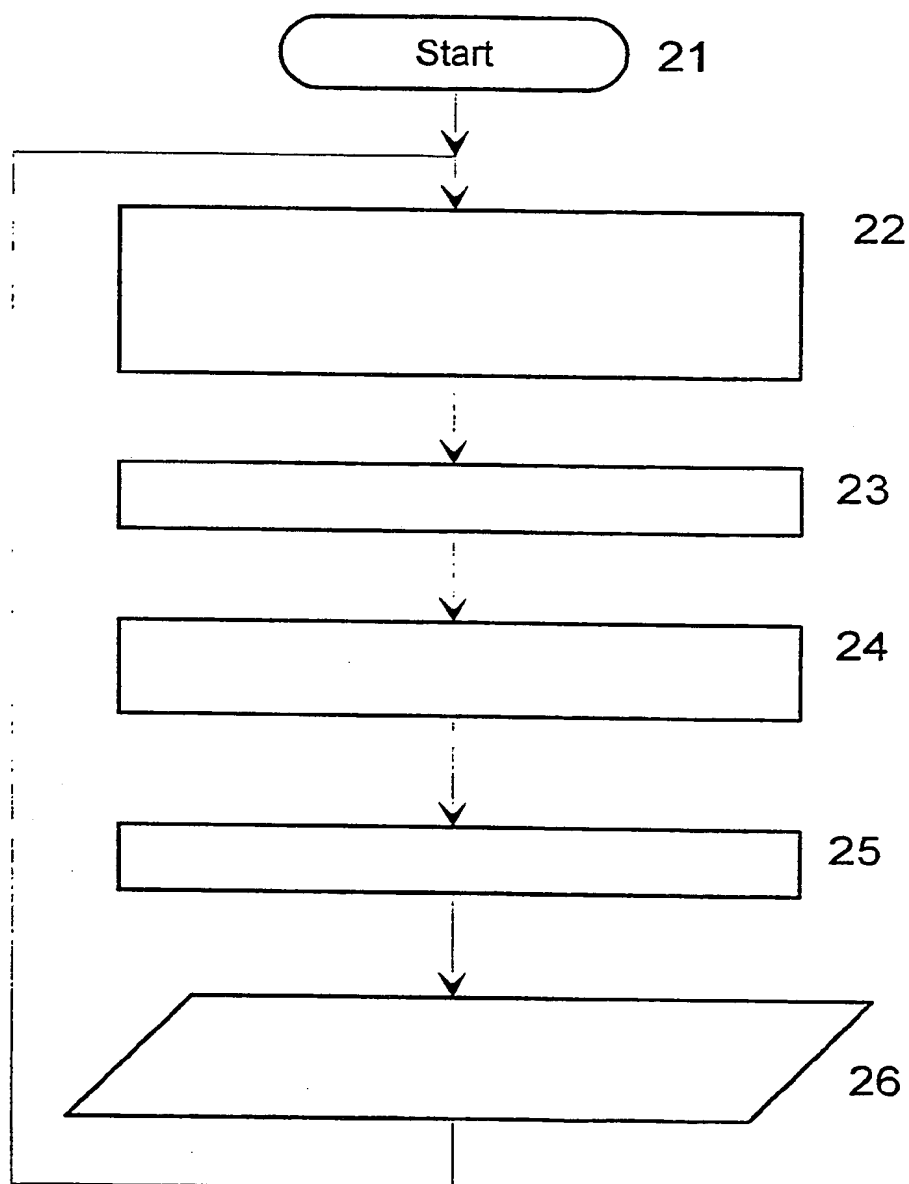


FIG 4

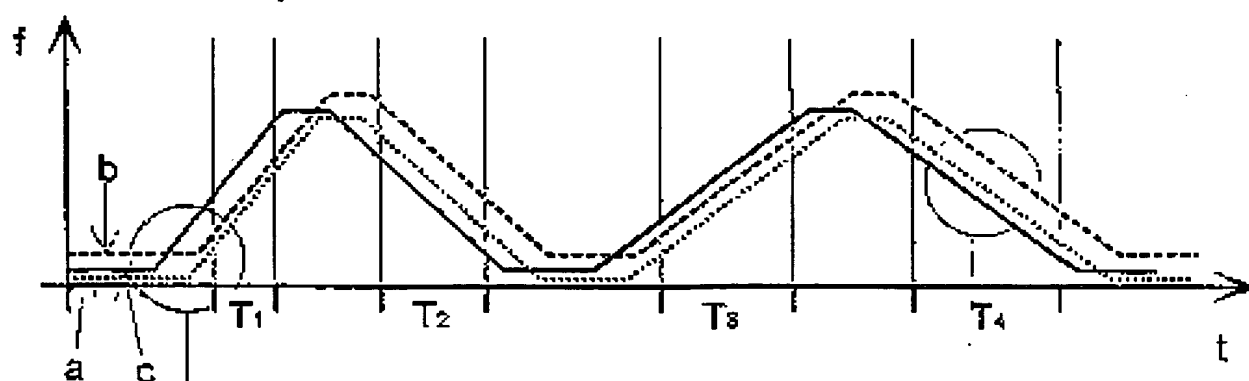


FIG 1

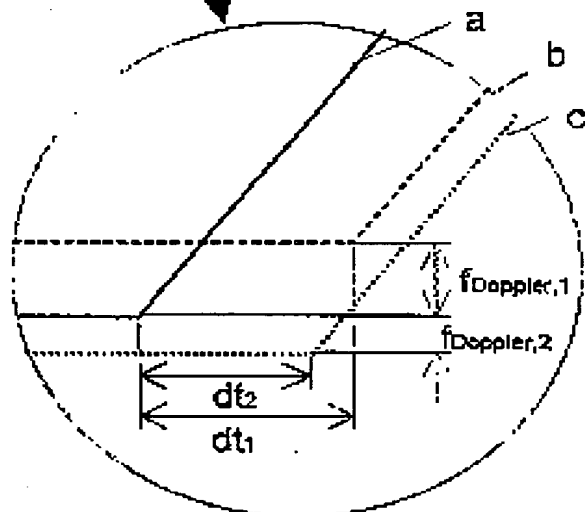


FIG 1a

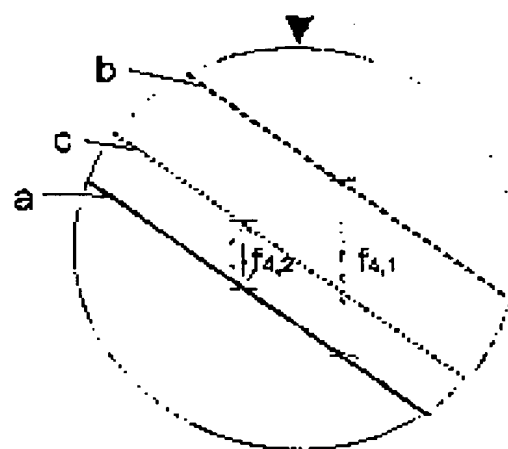


FIG 1b

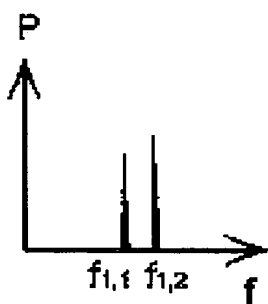


FIG 2a

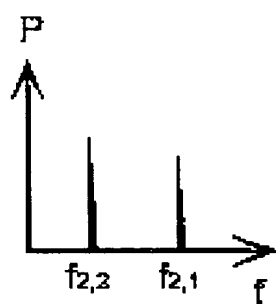


FIG 2b



FIG 2c

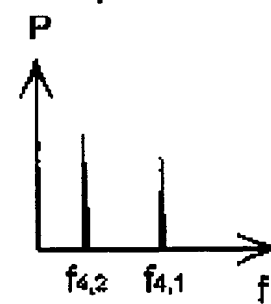
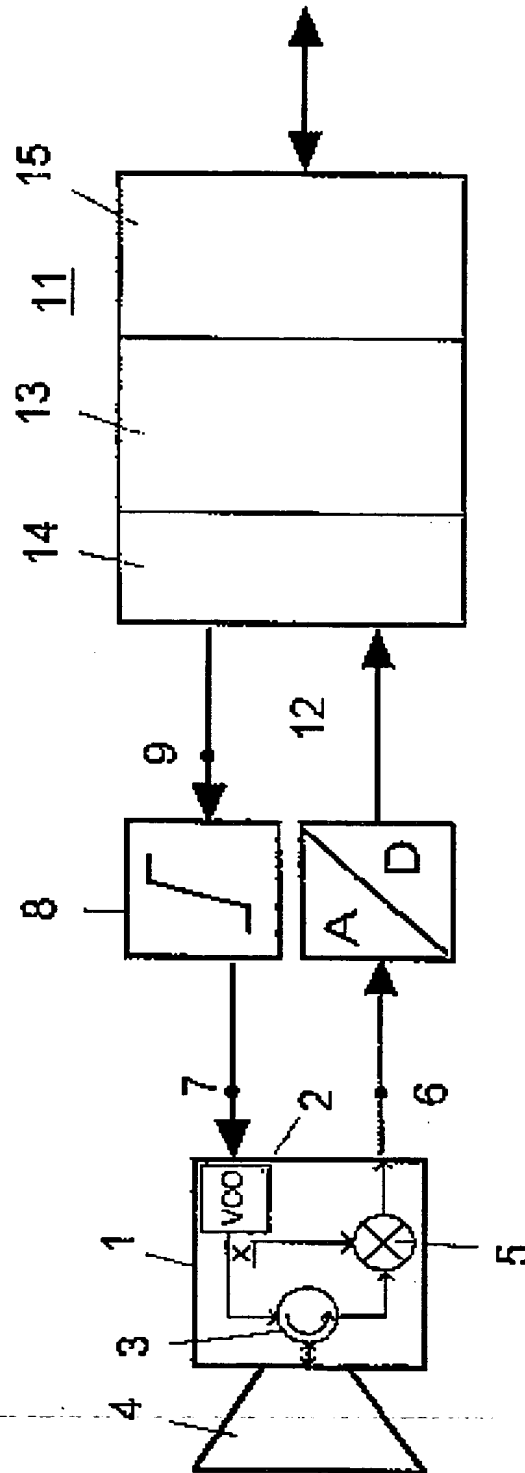


FIG 2d

316



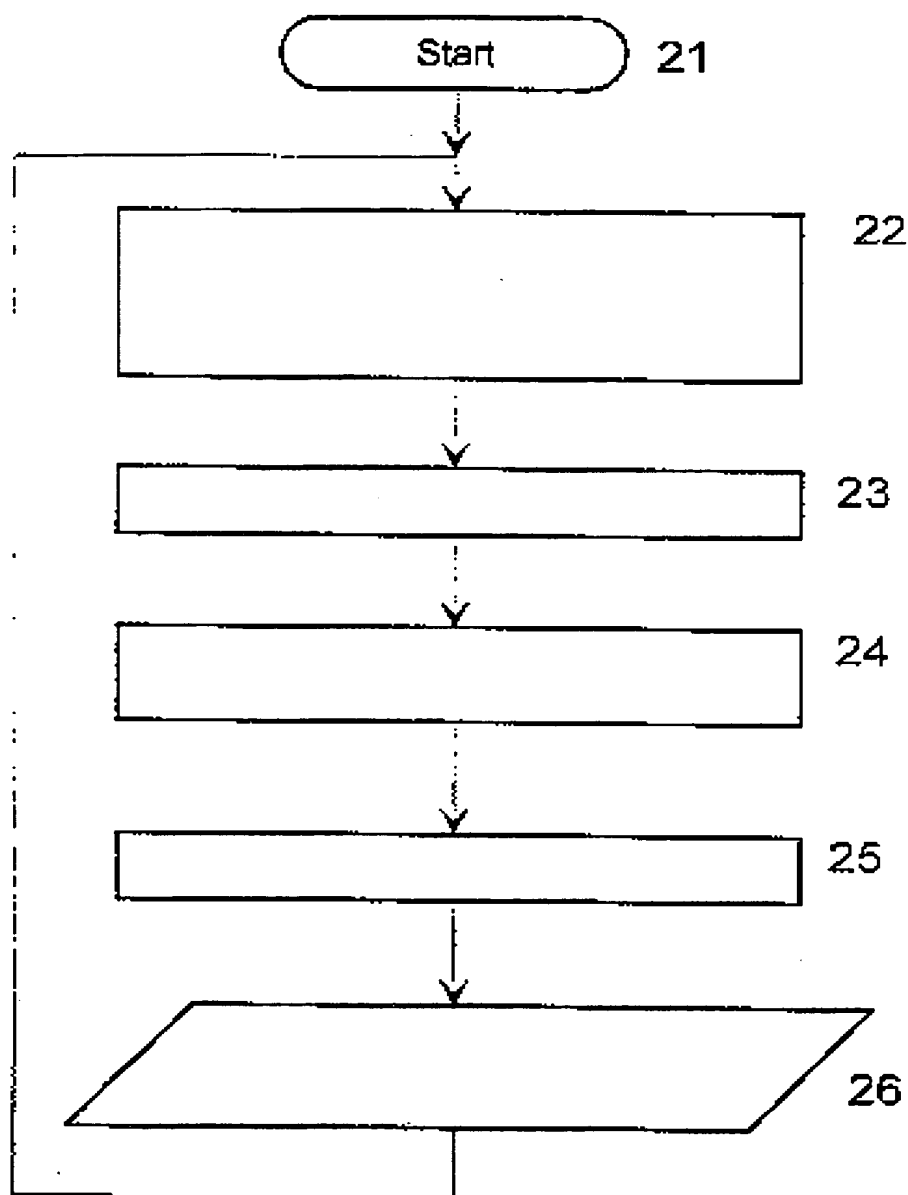


FIG 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)